单轴式静电悬浮无容器处理研究

“无容器”是空间环境的主要特征之一, 它避免了材料与容器壁的接触从而消除了固态有形界面, 是空间材料科学研究中重要的环境条件. 悬浮技术是地面条件下获得无容器状态的主要物理方法. 静电悬浮是利用带电样品在静电场中所受的库仑力来抵消其重力从而实现悬浮无容器状态, 具有多方面的优点: 适用于在表面能够保留静电荷的各种金属和非金属材料; 加热和悬浮独立控制, 悬浮稳定性不受温度影响, 可以在宽广的温度范围内开展研究; 悬浮样品内部扰动极小, 有利于进行液态合金的深过冷和快速凝固研究; 悬浮可在真空环境中进行, 避免了介质的影响. 因此, 静电悬浮是开展材料无容器处理研究的重要途径.

由于静电场中没有势能最小位置的“势阱”, 这给实现静电悬浮无容器处理带来了极大的挑战. 近 10 年来, 美国 NASA、德国 DLR 和日本 JAXA 成功开展了静电悬浮材料无容器处理研究. 在国家自然科学基金创新研究群体项目支持下, 西北工业大学魏炳波教授带领的空间材料科学研究团队通过对电极结构、样品极化、位置探测、反馈控制和系统优化等关键技术进行深入研究, 自行设计并研制成功中国拥有自主知识产权的静电悬浮材料物理性质与合成制备实验系统. 对多种材料进行了静电悬浮实验, 包括金属材料(AZ91D 镁合金, 铝箔团)、无机非金属材料(石墨、碳碳复合材料、红磷、二氧化硅)、有机材料(碳纤维增强树脂、液晶、绿豆)等. 图 1 为典型材料的静电悬浮实验结果. 由于控制系统响应迅速, 样品在 0.1 s 内可实现竖直方向稳定悬浮, 振幅小于 0.3 mm, 如图 2(a)所示. 球面电极产生的横向约束力保证了样品在水平方向的稳定性, 振幅小于 0.5 mm, 如图 2(b)所示. 相关研究成果发表于《中国科学: 物理学 力学 天文学》2010, 40: 722—728.

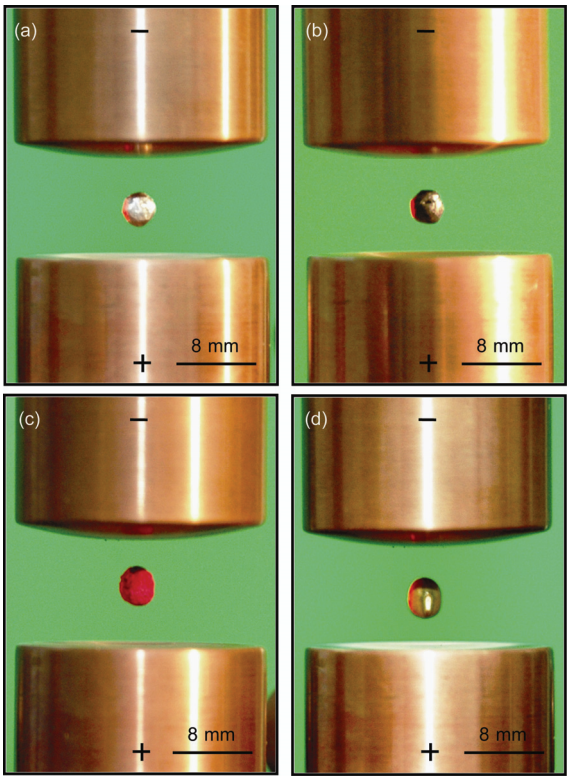

图 1 典型材料的静电悬浮实验结果
(a) 镁合金; (b) 石墨; (c) 红磷; (d) 绿豆

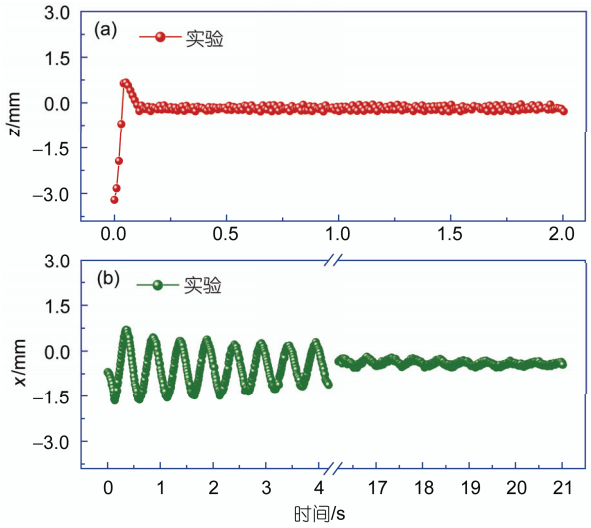

图 2 静电场中实现稳态悬浮的时间特征
(a) 样品竖直位置与时间的关系; (b) 样品水平位置与时间的关系

胡亮, 王海鹏, 解文军, 魏炳波
(西北工业大学应用物理系, 西安 710072)